Pêches et Océans Canada | Fisheries and Oceans Canada
Sciences des écosystèmes et des océans | Ecosystems and Oceans Science

Secrétariat canadien de consultation scientifique
Région de la capitale nationale | Avis scientifique 2016/051

RÉSEAU HYDRONET DU CRSNG : CONSOLIDATION DE CINQ ANNÉES DE RECHERCHE DESTINÉES À DÉVELOPPER LES CONNAISSANCES ET LES OUTILS CONCERNANT LES EFFETS DES INSTALLATIONS HYDROÉLECTRIQUES SUR LES ÉCOSYSTÈMES AQUATIQUES

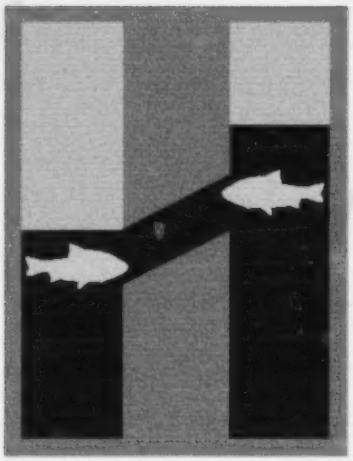

Figure 1. Logo HydroNet

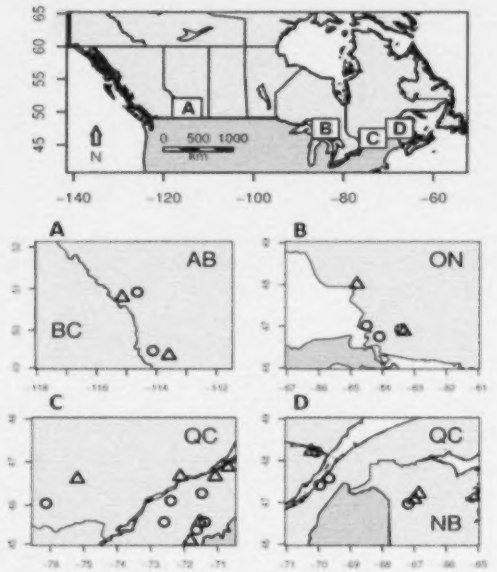

Figure 2. Carte des zones d'étude des cours d'eau du réseau HydroNet montrant les 15 cours d'eau non régulés (cercles) et les 13 cours d'eau régulés (triangles) répartis dans l'ensemble du Canada (tirée de Boisclair et al. 2016a).

Contexte

Le réseau HydroNet du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) était un réseau de recherche national dont la mission générale était de fournir au gouvernement et à l'industrie des connaissances et des outils qui contribueront au développement durable de l'hydroélectricité au Canada (pour plus d'informations, veuillez consulter le site Web du réseau HydroNet). HydroNet est récemment parvenu au terme de son mandat de cinq ans (2010-2014). Les activités de recherche du réseau HydroNet ont été définies à l'issue de consultations menées auprès d'un grand nombre d'entreprises productrices d'hydroélectricité et d'organismes gouvernementaux dans le but de recenser les activités de recherche les plus susceptibles de profiter à ces organisations. Lors du développement du réseau HydroNet, il est apparu clairement que la mise en œuvre du principe « d'aucune perte nette de la capacité de production de l'habitat du poisson », qui était un élément central

de l'ancienne Politique de gestion de l'habitat de Pêches et Océans Canada (MPO), était entravée par la difficulté d'estimer et de prédire la capacité productive de l'habitat du poisson (CPHP). Ainsi, l'enrichissement des connaissances et la création de nouveaux outils pour prendre en charge la mise en œuvre du principe « d'aucune perte nette » constituaient l'axe central de la mission de recherche, et la production de mesures de la CPHP a été considérée comme prioritaire. Suite aux modifications apportées à la Loi sur les pêches en juin 2012, le centre du processus réglementaire a déplacé son intêret de la CPHP vers la productivité de la pêche, et le principe de « l'équilibre entre les pertes et les gains » a été maintenu. Les mesures de la CPHP développées dans la cadre du réseau HydroNet ont toujours été centrées sur la biologie et restent par conséquent largement applicables pour la mise en œuvre des nouvelles dispositions relatives à la protection des pêches de la Loi sur les pêches.

HydroNet a entrepris et réalisé 21 projets dans le cadre d'une subvention de réseau stratégique centrée sur la CPHP des environnements riverains en aval des barrages hydroélectriques (soutenus par Pêches et Océans Canada) et 2 projets dans le cadre de subventions complémentaires du Programme de recherche et développement coopératif qui incluaient : 1) la modélisation méso-échelle de la capacité de production des habitats du poisson dans les lacs et les réservoirs avec Manitoba Hydro; et 2) la prédiction du risque d'entraînement du poisson dans les réservoirs hydroélectriques avec BC Hydro.

Vu les importantes contributions financières, intellectuelles et de gestion du MPO et de l'industrie pour la réalisation des objectifs du réseau HydroNet du CRSNG, il est important que les nouvelles connaissances et les nouveaux outils concernant les effets des installations hydroélectriques sur l'écosystème aquatique soient diffusés d'une façon concise et transparente. Le processus du Secrétariat canadien de consultation scientifique offre un environnement idéal pour rassembler et soumettre à un examen par des pairs les connaissances qui découlent des efforts de recherche importants du réseau HydroNet. Le but est d'utiliser cet avis scientifique pour contribuer à l'objectif général d'HydroNet : développer des solutions pratiques basées sur des connaissances scientifiques pour permettre aux responsables des ressources du gouvernement et de l'industrie d'évaluer, atténuer et compenser les impacts potentiels de la production d'hydroélectricité sur les écosystèmes aquatiques.

Le présent avis scientifique 'Consolidation de cinq années de recherche destinées à développer les connaissances et les outils concernant les effets des installations hydroélectriques sur les écosystèmes aquatiques' découle de la réunion nationale d'examen par les pairs concernant le réseau HydroNet du CRSNG, qui s'est tenue du 15 au 17 septembre 2015. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, dans le calendrier des avis scientifiques du secteur des Sciences de Pêches et Océans Canada (MPO).

SOMMAIRE

- Le présent avis scientifique fournit des conseils aux responsables des politiques et de la gestion découlant de cinq années de recherches sur les outils d'estimation et de prédiction des divers paramètres de productivité des pêches sur les systèmes aquatiques touchés par la production hydroélectrique, en support à la mise en œuvre des dispositions relatives à la protection des pêches de la *Loi sur les pêches*. Les documents de recherche examinés lors de la réunion regroupaient des recherches s'inscrivant sous quatre thèmes, et les avis scientifiques ont été organisés en conséquence :
  1. Principaux facteurs physiques et chimiques de la productivité des pêches dans diverses régions canadiennes (Lapointe *et al.* 2015). Ce thème comprenait la présentation d'un outil de télédétection utile pour quantifier l'habitat du poisson qui figurera dans les comptes rendus de l'atelier, de plus amples détails étant disponibles dans Hugue *et al.* 2015.
  2. Modélisation des effets des facteurs chimiques et physiques sur les paramètres de productivité des pêches dans des rivières ayant des régimes hydrologiques différents (Boisclair *et al.* 2015a).
  3. Modélisation méso-échelle des paramètres de productivité des pêches dans les réservoirs (Boisclair *et al.* 2016b).

4. Passage en amont et entraînement des poissons aux barrages hydroélectriques (Gutowsky *et al.* 2015).

- Le réseau HydroNet a développé une série de modèles empiriques établissant des liens entre les paramètres de productivité des pêches et les conditions environnementales. Comme avec tout modèle empirique, ces modèles s'appliquent surtout à des systèmes dont les conditions environnementales ou biologiques sont similaires à celles trouvées dans les systèmes du réseau HydroNet. Cependant, l'application des relations générales observées pourrait être plus répandue.

Facteurs physiques et chimiques

- La modification des régimes d'écoulement a été évaluée à l'aide d'une étude documentaire basée sur des ensembles de données hydrométriques facilement accessibles. Cette information peut servir d'analyse complémentaire aux indicateurs de modification du régime hydrologique (ou elle peut les remplacer lorsque les données historiques disponibles sont insuffisantes). Le régime d'écoulement des cours d'eau régulés peut être placé dans un contexte régional en quantifiant le degré d'anomalie de divers aspects des débits, défini en comparant le régime de systèmes non régulés (c'est-à-dire des systèmes non régulés par un barrage, se reporter au glossaire dans l'annexe) et à celui desystèmes régulés qui se trouvent dans la même région et dont les caractéristiques des bassins versants sont similaires.
- Le degré d'anomalie d'écoulement par rapport aux systèmes non régulés et à d'autres systèmes régulés pourrait service d'indice pour évaluer le degré d'étude requis ou à hiérarchiser les systèmes de l'étude qui doivent être régulés.
- Une analyse comparative des données thermiques des cours d'eau régulés et non régulés a révélé des différences importantes dans les régimes thermiques des systèmes de barrages réservoirs et de barrages de pointe (systèmes avec réservoirs) par rapport aux systèmes non régulés.
- Divers outils statistiques pour décrire le régime thermique des cours d'eau ont été développés et comparés, et des avis sont fournis concernant la sélection de modèles thermiques et leur utilisation dans les décisions de gestion. Étant donné que la collecte des données sur la température est relativement peu coûteuse et simple, et compte tenu de l'importance biologique de la température, la collecte de données sur la température devrait être envisagée aux fins d'intégration dans des programmes de surveillance.
- Une revue de la littérature (portant principalement sur des écosystèmes nord-américains) a révélée de fortesrelations entre le phosphore total et la biomasse des poissons à l'échelle régionale. Cependant, lorsque la richesse des espèces était prise en compte, les différences régionales n'existaient plus. L'inclusion de la profondeur moyenne contribuait à améliorer les modèles, et il n'existait pas de différence significative entre les lacs et les réservoirs.
- Le modèle biomasse de poissons-nutriments pour les rivières et cours d'eau, basé sur une revue de la littérature, présentait une pente différente par rapport à celui des systèmes lacustres, mais aucune différence a été observéeentre les cours d'eau régulés et non régulés. Cependant, une analyse appariée des cours d'eau régulés et non régulés n'a pas été menée, et cette question doit être étudiée plus en détail.
- Une méthode qui associe l'imagerie satellitaire de résolution submétrique à des transects de profondeur *in situ* pour créer, à faible coût, des cartes indiquant la profondeur de l'eau (et la vitesse si l'écoulement est connu) de tronçons de rivière très longs (plusieurs dizaines de kilomètres) a été mise au point. L'application de cette méthode de télédétection et les limitations sur son utilisation sont brièvement décrites ci-dessous, dans la section Analyse.

Facteurs biologiques

- Dans les cours d'eau situés en aval de barrages au fil de l'eau, les paramètres de productivité des pêches (densité, biomasse et richesse des espèces) ont tendance à être similaires à ceux des cours d'eau non régulés. Dans les cours d'eau situés en aval de barrages réservoirs, la biomasse de poisson était de 33 % supérieure, mais la richesse des espèces était de 1,7 % inférieure, par rapport aux prévisions pour un cours d'eau non régulé. Dans les cours d'eau situés en aval de barrages de pointe, on a constaté que la densité des poissons, la biomasse et la richesse des espèces étaient inférieures respectivement de 39 %, de 48 % et de 13 %, par rapport aux prédictions pour les cours d'eau non régulés.
- Un certain nombre de paramètres de régimes d'écoulement aux barrages de pointe analysés montraient des anomalies importantes comparées aux cours d'eau non régulés étudiés par HydroNet. Ainsi, un barrage de pointe qui présente moins d'anomalies importantes par rapport aux cours d'eau non régulés pourrait ne pas avoir les mêmes effets négatifs sur les paramètres de productivité des pêches. La comparaison d'un indice multidimensionnel d'anomalie d'écoulement entre les cours d'eau (tirée de 105 paramètres de débit) laisse présager qu'il pourrait exister un seuil au-delà duquel il y a un effet négatif significatif sur le biote. Des recherches approfondies doivent être menées pour confirmer si un tel seuil existe.
- Les résultats de projets visant à établir des liens entre le poisson et l'environnement pour divers paramètres de productivité des pêches, à différentes échelles d'organismes (communauté totale de poissons, guilde d'espèces, espèces, combinaison des espèces et catégories de taille), à différentes échelles spatiales (site, type d'habitat, tronçon de cours d'eau) et à l'aide de plusieurs techniques de modélisation (régression multiple, réseaux neuronaux artificiels, modélisation de l'habitat phylogénétique) ont été présentés.
- Les modèles élaborés ont déterminé des facteurs environnementaux clés dans les cours d'eau. Dans de bonnes conditions, ces modèles pourraient servir à prédire l'état futur des paramètres de productivité des pêches (différentes échelles d'organismes) dans les cours d'eau (différentes échelles spatiales). Ces outils pourraient être utilisés pour prédire les effets, déterminer les mesures d'atténuation et évaluer les effets résiduels de l'hydroélectricité sur les paramètres de productivité des pêches dans les cours d'eau.

Modélisation à moyenne échelle dans les réservoirs

- Le travail lié aux réservoirs consistait principalement en une étude méthodologique visant à mettre à l'essai diverses méthodes pour déterminer celles qui conviennent le mieux à l'échantillonnage dans les réservoirs dans le cadre des programmes de surveillance.
- Les méthodes hydroacoustiques ont été évaluées comme étant une méthode d'échantillonnage viable pour la zone pélagique (> 3 mètres de profondeur) dans les réservoirs. Les résultats concernant les catégories de taille des poissons ont correspondu aux attentes théoriques et ont été jugés uniformes et reproductibles.
- Plusieurs méthodes différentes (pêche électrique à bord d'un bateau, pêche à la senne et pêche au filet maillant) ont été examinées comme des méthodes d'échantillonnage viables pour la zone littorale (< 3 mètres de profondeur). Chacune de ces méthodes a des avantages et des limites, et le document de recherche contient de nombreuses recommandations quant à ce qui doit faire l'objet d'un échantillonnage et sur le moment et la manière dont l'échantillonnage doit être effectué dans la zone littorale d'un réservoir.
- Les liens entre le poisson et l'environnement ont été obtenus lorsque cela était possible. Cependant, il existait de grandes différences en matière de liens d'une année à l'autre, ce

qui semble indiquer que la modélisation et la validation de tels liens exigent plusieurs années d'échantillonnage.

- Une combinaison de variables de l'habitat locales (p. ex., couverture de macrophytes) et contextuelles (p. ex., distance par rapport aux affluents majeurs) semblait utile pour expliquer la variation des paramètres de productivité des pêches dans la zone littorale des réservoirs.

Passage du poisson

- Toute nouvelle passe à poissons doit faire l'objet d'une évaluation afin d'en déterminer l'efficacité en matière d'attraction et de passage du poisson (voir le glossaire pour connaître les définitions). D'un point de vue écologique, prévoir un passage pour le poisson réduit les répercussions aux endroits où le barrage modifie le passage du poisson. Cependant, la nécessité d'un passage pour le poisson doit être évaluée au cas par cas, en tenant compte de la communauté ichthyenne en place et en prenant en considération la disponibilité de l'habitat après la réalisation du projet.
- L'évaluation des passes à poissons doit comprendre la collecte de données biologiques (p. ex., attraction, passage complet) et hydrauliques (p. ex., vitesse, turbulence) et la modélisation connexe, le tout effectué par une équipe multidisciplinaire.
- L'évaluation du succès du passage du poisson dans une passe à poissons doit reposer sur des objectifs propres au site, *a priori*, fondés sur des critères biologiques liés à des objectifs de gestion des pêches ou de conservation. Surveiller simplement le passage complet du poisson dans la passe à poissons (p. ex., capture dans un siphon se trouvant dans la partie supérieure) ne suffit pas pour évaluer le succès du passage, étant donné qu'il est nécessaire de connaître le nombre de poissons ayant cherché un passage et tenté de le franchir pour mesurer un taux de réussite. Dans l'idéal, de tels renseignements sont examinés dans le contexte de la biologie des populations pour des espèces ou des populations ciblées.
- Les évaluations de risque d'entraînement utilisant des méthodes théoriques représentent une première étape vers l'évaluation du besoin d'études plus détaillées ainsi que leur niveau de priorité.
- La modélisation de l'environnement physique du bief amont (y compris les dynamiques du champ de courant et la température de l'eau) est essentielle pour comprendre les facteurs participant à l'entraînement. Par conséquent, la meilleure évaluation de l'entraînement est effectuée par une équipe multidisciplinaire composée d'ingénieurs et de biologistes.
- L'entraînement doit être examiné en fonction des espèces et des stades biologiques, pour les diverses échelles spatiales (représentativité brute ou à petite échelle) et temporelles (p. ex., journalières, saisonnières).

INTRODUCTION

Le réseau HydroNet du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) était un réseau de recherche national dont la mission générale était de fournir au gouvernement et à l'industrie des connaissances et des outils qui contribueront au développement durable de l'hydroélectricité au Canada (pour plus d'informations, veuillez consulter le site Web du réseau HydroNet du CRSNG). HydroNet est récemment parvenu au terme de son mandat de cinq ans (2010-2014). Les activités de recherche du réseau HydroNet ont été définies à l'issue de consultations menées auprès d'un grand nombre d'entreprises productrices d'hydroélectricité et d'organismes gouvernementaux dans le but de recenser les activités de recherche les plus susceptibles de profiter à ces organisations. La plateforme de recherche d'HydroNet était composée d'une série de projets axés sur deux thèmes :

1. Modélisation de la productivité des pêches dans les cours d'eau.
2. Modélisation des interactions poisson-habitat dans les réservoirs.

Le thème « Modélisation de la productivité des pêches dans les cours d'eau » comprenait des projets sur la productivité des pêches et ses facteurs chimiques, physiques et biologiques. Le thème « Modélisation des interactions poisson-habitat dans les réservoirs » comprenait des projets sur la modélisation à moyenne échelle des paramètres de productivité des pêches et sur la prédiction du passage des poissons et du risque d'entraînement du poisson.

À leur lancement, les recherches menées par HydroNet étaient directement associées au cadre réglementaire. À l'époque du développement du réseau HydroNet, il est apparu clairement que la mise en œuvre du principe « d'aucune perte nette de la capacité de production de l'habitat du poisson », qui était un élément central de l'ancienne *Politique de gestion de l'habitat* de Pêches et Océans Canada (MPO 1986), était entravée par la difficulté d'estimer et de prédire la capacité productive de l'habitat du poisson (CPHP). Ainsi, l'enrichissement des connaissances et la création de nouveaux outils pour prendre en charge la mise en œuvre du principe « d'aucune perte nette » constituaient l'axe central de la mission de recherche, et la production de mesures de la CPHP a été considérée comme étant la priorité. Avec les modifications apportées à la *Loi sur les pêches* en juin 2012, le centre du processus réglementaire s'est déplacé de la CPHP vers la productivité de la pêche, mais le principe de « l'équilibre entre les pertes et les gains » a été maintenu. Les mesures de la CPHP développées dans la cadre du réseau HydroNet ont toujours été centrées sur la biologie et restent par conséquent largement applicables pour la mise en œuvre des dispositions relatives à la protection des pêches.

Vu les importantes contributions financières, intellectuelles et de gestion du MPO et de l'industrie pour la réalisation des objectifs du réseau HydroNet du CRSNG, il est important que les nouvelles connaissances et les nouveaux outils concernant les effets des installations hydroélectriques sur l'écosystème aquatique soient diffusés d'une façon concise et transparente. Le présent avis scientifique présente un résumé des constatations et aborde les lacunes en matière de recherche.

La consolidation et l'intégration des connaissances et des outils issus de cinq années d'activités de recherche du réseau HydroNet a donné lieu aux cinq thèmes suivants :

a. Facteurs physiques et chimiques (débit, nutriments et température) de productivité des pêches dans des rivières présentant des régimes hydrologiques différents : enseignements tirés du réseau HydroNet du CRSNG 2010-2015 (Lapointe *et al.* 2015).
b. Facteurs biologiques de productivité des pêches dans des cours d'eau au régime hydrologique différent : enseignements tirés du réseau HydroNet du CRSNG 2010-2015 (Boisclair *et al.* 2016a).

c. Modélisation à moyenne échelle de productivité de la pêche dans un réservoir : enseignements tirés du réseau HydroNet du CRSNG 2010-2015 (Boisclair *et al.* 2016b).
d. Risque d'entraînement vers l'aval et passage du poisson en amont des barrages : enseignements tirés du réseau HydroNet du CRSNG 2010-2015 (Gutowsky *et al.* 2015).
e. Télédétection de la géomorphologie riveraine comme outil pour l'évaluation de l'habitat physique riverain

Le 5^{e} thème a été abordé par l'intermédiaire d'une présentation à la réunion uniquement et il n'est pas résumé dans un document de recherche. Les participants à la réunion ont convenu d'inclure les points clés découlant de la présentation sur la télédétection dans l'avis scientifique (AS); ces points clés se trouvent dans la section « Facteurs physiques et chimiques » (pour de plus amples détails sur l'approche, se reporter à Hugue *et al.* 2015).

ANALYSE

Le présent avis scientifique décrit le développement d'un grand nombre de modèles statistiques, c.-à-d. l'ajustement des relations entre les variables réponse et les variables explicatives. Tout modèle développé par le réseau HydroNet à l'aide de données collectées par un échantillonnage empirique s'applique uniquement aux plans d'eau dont les caractéristiques sont couvertes par l'ensemble de systèmes utilisés dans son élaboration. Dans le cas des 28 cours d'eau étudiés dans le cadre du réseau HydroNet, les gammes relativement restreintes de conditions environnementales sont présentées dans le tableau 1. De même, les projets de réservoirs comprenaient des systèmes seuls avec des caractéristiques uniques. L'extrapolation de ces résultats aux systèmes dont les caractéristiques se trouvent en dehors de la gamme de conditions environnementales n'est pas recommandée en l'absence de recherches plus poussées. Malgré cette limite, quelques contributions conceptuelles de cette étude pourraient s'appliquer sur une plus large échelle (p. ex., l'existence de relations générales entre les paramètres de productivité des pêches et les conditions environnementales; la possibilité de déterminer quelques indices clés de débit et de température parmi des centaines d'indices potentiels). Les modèles présentés, tirés de la documentation, pourraient être rendus plus largement applicables, leur élaboration ayant été fondée sur des centaines de systèmes dans l'ensemble d'une vaste zone géographique.

Cependant, tout modèle doit être étalonné, mis à l'essai et validé avant de pouvoir être utilisé efficacement. Cela a été en partie accompli soit par la validation croisée ou soit en retirant certaines observations d'un ensemble de données pour calibrer les modèles à nouveau avec celles conservées et utiliser ces modèles pour prédire les observations retirées. En comparant les valeurs observées avec celles prévues, R^2_{CV}, le pouvoir de prédiction du modèle peut être calculé. Avant d'appliquer des modèles à un vaste éventail de nouveaux cours d'eau, il serait prudent de les valider d'abord dans au moins un cours d'eau et, idéalement, dans un grand nombre de cours d'eau. Par conséquent, la validation dépend de la collecte de données provenant de nouveaux cours d'eau, totalement indépendants de la présente étude, afin d'évaluer la façon dont les modèles peuvent prédire de façon précise les nouveaux systèmes. Des nouvelles données doivent donc être intégrées aux modèles afin d'améliorer leur capacité d'expliquer et de prédire pour un éventail encore plus large de cours d'eau, dans le cadre d'une approche de modélisation adaptative. Étant donné qu'un certain nombre d'installations hydroélectriques existantes et proposées au Canada existent sur des fleuves, il importe d'étendre l'approche à des systèmes plus importants pour élargir l'applicabilité des résultats.

Tableau 1. Éventail de caractéristiques au moment de l'échantillonnage des poissons compris dans les 28 cours d'eau (régulés et non régulés) étudiés dans le cadre des thèmes 1 et 2 du réseau HydroNet. Les détails supplémentaires sur les caractéristiques de chaque cours d'eau se trouvent dans Boisclair et al. *2016a, tableau 1.*

	Minimum	Maximum	Moyenne globale
Largeur moyenne du périmètre mouillé à des débits d'échantillonnage faibles (m)	14	116	47
Profondeur moyenne à des débits d'échantillonnage faibles (cm)	28	58	40
Débit moyen durant l'échantillonnage ($m^3 \cdot s^{-1}$)	2,5	66,5	18,5
Vitesse moyenne du débit ($m \cdot s^{-1}$)	0,07	0,6	0,3
D50 (cm)	0,05	15,5	5,2
Richesse des espèces	6	25	15,7
Couverture de macrophytes (%)	0	21	2,2
Transparence de l'eau (m)	0,6	12	3,4
Phosphore total ($\mu g \cdot L^{-1}$)	0,5	14,7	7,1

Le débit et la température doivent être régulièrement surveillées (et ce autant pour les cours d'eau non régulés qui servent de référence que pour les sites dans les tronçons régulés). Malgré la possibilité de créer des centaines d'indices de débit et de température à partir de telles données, la redondance parmi les indices réduit considérablement le nombre requis. Par exemple, on a remarqué qu'un nombre relativement faible d'indices de débit (11), parmi 105 indices de débit (~61 % à 91 %), expliquait une importante partie de l'information et que seuls trois indices de température semblaient particulièrement importants pour expliquer les variations de la densité et de la biomasse de la population de poissons (définies dans Boisclair *et al.* 2016a, tableau 2). Dans une analyse établissant un lien entre les indices et la modification des paramètres biotiques, les onze indices de débit qui contribuaient le plus à la variabilité entre les cours d'eau étaient les suivants : MA3 et nML6 (ampleur), FH1 (fréquence), DL12 et DH6 (durée), TA2 et TH2 (période), RA7 et nRA1 (taux de variation) et RL2 et MA60 (débits horaires) (tableau 2). Bien que les données sur le débit soient régulièrement recueillies (et elles devraient l'être) dans le cadre de programmes de surveillance hydroélectriques, les indices de température étaient importants dans la plupart des relations entre le poisson et l'environnement, et il est recommandé que les données sur la température soient également recueillies dans tous les programmes de surveillance, compte tenu de leur importance.

Tableau 2. Définition des onze indices de débit qui ont contribué le plus à la variabilité entre les cours d'eau pour chacun des composants du débit mesurés. Les détails sur la façon dont chaque indice est calculé se trouvent dans Boisclair et al. 2016a, tableau 2.

Code	Composant du débit	Description
MA3	Ampleur	Variabilité du débit journalier
nML6	Ampleur	Débits mensuels minimaux moyens (juin)
FH1	Fréquence	Fréquence de crue 1 (quantité élevée de pulsations de crue – 75^{e} centile)
DL12	Durée	Débit minimal annuel normalisé sur 7 jours
DH6	Durée	Variabilité du débit moyen quotidien maximal annuel
TA2	Période	Prévisibilité du débit
TH2	Période	Variabilité du débit maximal annuel (date julienne)
RA7	Taux de variation	Changement de débit (baisse)
nRA1	Taux de variation	Hausse du taux
RL2	Horaire	Indexage horaire par carte-repère 2 (faible débit)
MA60	Horaire	Coefficient de la variation journalière

Facteurs physiques et chimiques

Régime d'écoulement

L'évaluation de tout projet hydroélectrique nouveau ou existant pour appuyer une décision réglementaire implique nécessairement l'examen du degré de modification du régime d'écoulement, étant donné que le débit est la principale variable modifiée par les barrages. Nous utilisons ici les termes *modification* du débit et *anomalie* du débit (voir le glossaire dans l'annexe) pour faire une distinction claire entre ces deux approches utiles, mais complémentaires, qui permettent d'examiner dans quelle mesure le régime d'écoulement d'un système est modifié par des activités hydroélectriques. L'information complémentaire fournie par ces deux approches, qui sont fondées sur des données différentes et qui répondent à des questions différentes, est examinée dans Lapointe *et al.* (2015).

Lorsque des données historiques (datant d'avant le barrage) adéquates sur le débit sont disponibles (au moins 20 ans), les indicateurs de modification du régime hydrologique (p. ex. logiciel IHA) sont utiles pour quantifier des paramètres précis de *modification* du régime d'écoulement en comparant les hydrogrammes futurs simulés avec les conditions avant le barrage. Considérée comme une analyse complémentaire aux indicateurs de modification du régime hydrologique (ou comme substitut lorsque le nombre de données historiques disponibles est insuffisant), une autre approche utile a été décrite par Lapointe *et al.* (2015). Le régime d'écoulement des cours d'eau régulés peut être placé dans un contexte régional en quantifiant le degré d'*anomalie* de divers aspects de leur régime d'écoulement par rapport aux régimes de systèmes non régulés et à d'autres systèmes régulés qui se trouvent dans la même région et dont les caractéristiques des bassins versants sont assez semblables.

Pour caractériser des régimes non régulés, des données sur les débits quotidiens de systèmes non régulés et géographiquement proches, avec des zones de drainage comparables (c.-à-d. généralement entre 50 à 200 % de la zone du bassin versant régulée) sont nécessaires

(données de la Division des relevés hydrologiques du Canada ou d'autres données de jaugeage, avec tous les débits normalisés par le débit annuel moyen de chaque système pour tenir compte des différences de taille des bassins versants). Les séries chronologiques d'au moins 20 ans sont idéales. Pour l'ensemble des systèmes de référence, il est nécessaire d'obtenir une moyenne et un écart-type solides relativement à un vaste ensemble de mesures du débit — ampleur, durée, fréquence, période, etc. Par conséquent, 10 à 15 systèmes doivent être inclus dans l'ensemble de données de référence, dans la mesure du possible.

Le degré d'anomalie par rapport aux systèmes non régulés géographiquement proches et à d'autres systèmes régulés (p. ex., quantifié en écart réduit [score Z], indiquant, pour chaque paramètre étudié, combien d'écarts-types séparent une mesure de la moyenne de référence; voir le glossaire) pourrait aider à orienter le degré d'étude requis pour le système qui doit être réglementé. En l'absence d'un vaste ensemble de systèmes non régulés pertinents à proximité, un nombre moins important de systèmes pourrait être utilisé pour produire les paramètres de débit de référence, mais le degré d'étude requis devrait alors augmenter en proportion du degré d'incertitude rattaché aux paramètres de débit de référence.

La distance géographique par rapport à un système régulé particulier qui est acceptable pour chercher des systèmes de référence augmentera nécessairement avec la taille du bassin versant à l'étude (plus le système est vaste, plus vous devez vous éloigner de celui-ci pour trouver des systèmes de référence appropriés ayant la bonne taille). Par conséquent, cette façon de quantifier les anomalies du régime rend impossible sa mise en pratique pour les sites situés le long de très grands cours d'eau, étant donné que des bassins versants aussi vastes peuvent être séparés par des milliers de kilomètres et, ainsi, présenter des hydroclimats fort différents (précipitation, température et donc régimes de ruissellement non régulés).

Température

La température de l'eau est considérée comme l'un des principaux facteurs façonnant les communautés aquatiques et, avec le débit, elle est souvent modifiée, dans une large mesure, par l'installation d'un barrage. Ainsi, la collecte des données sur la température est très pertinente et utile pour les programmes de surveillance. La collecte de données sur la température étant aussi relativement peu chère et simple, les données doivent être recueillies de manière standard, dans le cadre des programmes de surveillance.

Une analyse des cours d'eau régulés appariés (avec barrages de pointe, barrages réservoirs et barrages au fil de l'eau) par rapport aux cours d'eau non régulés dans l'est du Canada a été effectuée. On a constaté que les régimes thermiques des systèmes de barrages au fil de l'eau ne différaient pas sensiblement de ceux des cours d'eau non régulés. En revanche, les systèmes des barrages réservoirs et de pointe variaient de différentes façons :

- La température maximale était souvent décalée plus tard, durant l'année.
- L'ampleur des fluctuations quotidiennes était souvent atténuée.
- Le nombre d'inversions de la température au cours d'un cycle journalier augmentait.
- Les températures de l'eau relativement plus chaudes en hiver empêchaient la formation d'une couverture de glace en aval de certains barrages.

La plage quotidienne moyenne estivale et le nombre moyen d'inversions par jour représentaient la plus grande différence entre les cours d'eau régulés (avec barrages réservoirs et de pointe) et les cours d'eau non régulés, confirmant l'importance de prendre en considération les échelles infraquotidiennes lors des évaluations thermiques.

Divers outils statistiques pour décrire le régime thermique des cours d'eau ont été mis au point et comparés. Bien que les modèles déterministes (se reporter au glossaire pour connaître la

définition) permettent la simulation des températures le long du tronçon du cours d'eau, leur utilisation est souvent entravée par la nécessité d'obtenir davantage de données. Les modèles statistiques (se reporter au glossaire pour connaître la définition) donnaient souvent de meilleurs résultats que les modèles déterministes, mais la plupart d'entre eux ne peuvent que simuler les températures de l'eau à un endroit sur le cours d'eau, sauf dans un cas qui est indiqué. Les modèles statistiques ne remplacent pas nécessairement les approches de modélisation déterministes et ils pourraient ne pas pouvoir offrir la même capacité prédictive. Cependant, ils sont plus simples à élaborer et à étalonner, car ils utilisent moins de données environnementales. La sélection de modèles doit être fondée sur les critères suivants :

a. la disponibilité des données;
b. la capacité du modèle à tenir compte de la variabilité du débit;
c. la nécessité de simuler la température de l'eau à différents endroits;
d. la facilité relative d'étalonnage et de validation.

Nutriments

Les nutriments sont des facteurs bien connus influant sur la productivité primaire dans les rivières et les lacs. Les flux d'énergie vers les poissons, par l'intermédiaire de la productivité secondaire, permettent raisonnablement de s'attendre à l'existence d'une relation prédictive entre la productivité des pêches (estimées par l'intermédiaire de la biomasse des poissons) et le régime en nutriments (phosphore total et azote total). Un large éventail de sources publiées et non publiées représentant différents types de systèmes (eau courante et stagnante), variant considérablement lorsque l'on considère la profondeur, et comprenant une combinaison de systèmes régulés et non régulés, ont été extraites pour obtenir des données sur les nutriments et la biomasse des poissons afin de comparer la biomasse des poissons, la diversité des nutriments et la diversité des espèces entre les régions et les types d'écosystèmes.

Une analyse de la documentation (incluant surtout des systèmes nord-américains) a permis de déceler des différences importantes entre les régions et les types d'écosystèmes; les estimations de la biomasse des poissons et la teneur en éléments nutritifs dans les rivières et cours d'eau étant plus élevées que celles dans les systèmes lacustres. Les régressions bilogarithmiques ont révélé des relations fortes entre le phosphore total et la biomasse des poissons (intervalle de R^2 = 0,44 à 0,69, voir Lapointe *et al.* 2015, tableau 3) avec une dépendance régionale (jusqu'à un maximum de 150 $mg \cdot m^{-3}$ de phosphore total, au-delà duquel ces relations n'existaient plus), mais ne présentaient pas de différence entre les rivières et les lacs, ce qui indique que le principal facteur pour expliquer une plus grande biomasse de poissons dans les rivières est qu'elles contiennent, en général, des nutriments plus riches. Cependant, lorsque la richesse des espèces était prise en compte, les différences régionales n'existaient plus. L'inclusion de la profondeur moyenne améliorait encore les modèles (plage de R^2 = 0,74 à 0,82, voir Lapointe *et al.* 2015, tableau 4), et il n'existait pas de différence au sein du modèle, entre les lacs et les réservoirs. Le modèle pour les rivières présentait une pente différente par rapport aux systèmes lacustres, mais il n'existait aucune différence entre les rivières régulées et celles non régulées. Cependant, une analyse appariée des cours d'eau régulés et non régulés n'a pas été menée, et cette question doit être étudiée plus en détail.

On a reconnu que la biomasse totale des poissons s'applique aux communautés entières et non aux pêches. Ainsi, une méthode a été présentée par laquelle les modèles de nutriment pourraient être utilisés comme point de départ pour effectuer une analyse des pêches. La précision des prévisions à partir des modèles a, au mieux, une erreur-type deux fois plus élevée. Par conséquent, les modèles peuvent fournir une valeur approximative qui peut être considérée comme une production possible du système. En revanche, ils ne fourniront pas d'objectifs particuliers. La production réelle du système peut différer de cette production

possible, les conditions écosystémiques n'ayant rien à voir avec la teneur en nutriments. Par exemple, la limite de recrutement peut être un facteur pour certains systèmes, si les espèces présentes n'ont pas l'habitat nécessaire pour se développer à travers tous les stades de leur cycle biologique (p. ex., reproducteurs dépendant des habitats fluviaux qui pourraient ne pas disposer d'un habitat de frai adéquat dans un réservoir après une inondation) ou si certaines niches sont vides après une retenue d'eau (p. ex., des prédateurs pélagiques pourraient ne pas être présents). Ces situations auront tendance à réduire la production globale du système par rapport à sa production potentielle estimée.

Télédétection

Une méthode qui associe l'image satellite de résolution submétrique à des transects de profondeur *in situ* a été utilisée pour créer des cartes de faible coût indiquant la profondeur de l'eau de tronçons de cours d'eau très longs (plusieurs dizaines de kilomètres de long) (Hugue *et al.* 2015). La méthode ne s'applique pas aux cours d'eau très petits ou très profonds et troubles (dans lesquels le couvert forestier ou la transparence de l'eau empêchent la lumière d'atteindre le fond). En supposant que l'écoulement est connu à partir d'une jauge située à proximité pendant la période de saisie d'images satellites, la méthode peut aussi permettre d'estimer les profils de vitesses en répartissant le débit dans le cours d'eau cartographié à l'aide de règles empiriques sur l'écoulement 2D (appelées modèles hydrauliques « 2D »).

Cette méthode de télédétection permet une couverture à faible coût des profils d'habitats hydrauliques selon une résolution exprimée en mètre sur des longs tronçons de cours d'eau et la sélection de zones représentatives (p. ex., zones d'hétérogénéité élevée de l'habitat) qui pourraient faire l'objet d'études plus poussées pour déterminer les attributs physiques ou biologiques. Sur de longues périodes, cette méthode de télédétection pourrait permettre de documenter les changements à grande échelle de l'habitat en fonction de la profondeur de l'eau et de la vitesse du courant.

Facteurs biologiques

Rivières

La mise en œuvre des dispositions relatives à la protection des pêches de la *Loi sur les pêches* comprend l'estimation du milieu naturel d'un écosystème aquatique et la prévision des effets d'un projet sur les paramètres de productivité des pêches. On savait depuis longtemps que des relations explicatives ou prédictives entre les paramètres de productivité des pêches et les conditions environnementales existaient dans les lacs, mais très peu ont été établies dans le cas des cours d'eau. La composante des facteurs biologiques du réseau HydroNet visait à établir des relations explicatives, et tôt ou tard prédictives, entre les poissons et l'environnement qui faciliteraient l'évaluation des effets du développement hydroélectrique ou des activités hydroélectriques sur les paramètres de productivité des pêches.

Le processus de sélection d'un cours d'eau conçu pour maximiser la plage de variables étudiées tout en minimisant les effets des facteurs de confusion a donné lieu à l'inclusion de 15 cours d'eau non régulés et de 13 cours d'eau régulés (y compris les systèmes de barrages au fil de l'eau, les barrages réservoirs et de pointe décrits dans Boisclair *et al.* 2016a, tableau 1) dont la répartition s'étend de l'Alberta jusqu'au Nouveau-Brunswick (figure 2). Un certain nombre de variables ont été recueillies dans ces sites :

a. Paramètres de productivité des pêches (densité et biomasse selon l'espèce et la catégorie de taille, et richesse des espèces) estimés à l'aide d'une combinaison de pêche électrique et de plongée avec tuba.
b. Variables d'échelle du site (p. ex., profondeur, vitesse, substrat, macrophytes).

c. Variables d'échelle du tronçon (p. ex., débit, nutriments, hétérogénéité de l'habitat, indices de température).
d. Variables d'échelle du paysage (p. ex., zone du bassin versant, utilisation des terres).

Une évaluation des variations de la densité, de la biomasse et de la richesse des espèces entre les différents cours d'eau (modèles 1 à 3 dans Boisclair *et al.* 2016a, tableau 6) a démontré que les paramètres de productivité des pêches (densité, biomasse, richesse des espèces) dans les cours d'eau situés en aval de barrages au fil de l'eau avaient tendance à être similaires à ceux des cours d'eau non régulés. Dans les cours d'eau situés en aval de barrages réservoirs, la biomasse de poisson était de 33 % supérieure, mais la richesse des espèces était de 1,7 % inférieure, par rapport aux prévisions pour un cours d'eau non régulé. Les cours d'eau situés en aval des barrages de pointe présentaient des densités de poisson, une biomasse et une richesse des espèces plus faibles de 39 %, 48 % et 13 %, respectivement, par rapport à celles prévues pour les cours d'eau non régulés. Ces barrages de pointe présentaient de grandes amplitudes de débit et des débits minimaux faibles. Les barrages de pointe dont les fluctuations de débit étaient moins extrêmes pourraient ne pas avoir les mêmes effets négatifs sur les paramètres de productivité des pêches.

Les indices multidimensionnels d'anomalie du débit tirés de 105 paramètres de débit pourraient expliquer une grande partie de la variation des indices multidimensionnels d'anomalie biotique tirés de 25 paramètres biotiques (modèle 4, Boisclair *et al.* 2016a, tableau 6). Dans le cas des systèmes non régulés, la plage de variations était plus importante pour les paramètres biotiques que pour les paramètres de débit, mais cela pourrait être dû à d'autres facteurs (p. ex., température, nutriments, interactions biotiques) touchant les variables biotiques ou pourrait être lié à la difficulté d'échantillonner des variables biotiques par rapport à des variables physiques. Le degré d'anomalie multidimensionnelle du débit pourrait avoir un seuil ayant un effet significatif sur les variables biotiques. Des recherches plus poussées, en particulier dans des cours d'eau qui seraient regroupés dans la catégorie de la plage d'anomalies du débit modérée à élevée, doivent être menées pour confirmer si un tel seuil existe. Les régimes d'écoulement prévus après le développement peuvent être transformés en degré d'anomalie du débit et peuvent aider à orienter les exigences en matière d'évaluation et de surveillance fondées sur le degré d'anomalie.

Une approche groupée (p. ex., guildes comportementales, d'habitat, reproductives et morphologiques et groupe taxonomique) semblait utile dans les situations où il existe un grand nombre d'espèces de poissons (modèles 5 à 10 dans Boisclair *et al.* 2016a, tableau 6). Les indices du débit et de la température ont expliqué une partie relativement importante de la variation entre les cours d'eau en ce qui a trait à la densité et à la biomasse de la population de poissons (plage : guilde reproductive [32 %] – guilde d'habitat [44 %], rendement supérieur au modèle élaboré à l'aide du groupe taxonomique [26 %]). L'ampleur des températures de l'eau en été était la principale variable explicative dans tous les modèles de guilde associée à la biomasse, suivie de la variabilité du débit au sein d'une même année (5 guildes) ou de la variabilité du débit à long terme (guildes morphologiques, trophiques, comportementales, taxonomiques). Le retrait des indices de la température a plus réduit le pouvoir explicatif des modèles que les indices du débit provenant des analyses, ce qui souligne encore une fois l'importance d'inclure des indices de température dans les programmes de surveillance. Il existe un petit nombre d'indices de la température :

1. Degrés-jours.
2. Température de l'eau moyenne en juillet.
3. Température de l'eau moyenne en été, qui semblait particulièrement importante pour expliquer les variations de la guilde, de la densité et de la biomasse des poissons.

Un modèle ayant fait l'objet d'une validation croisée (modèle 11 dans Boisclair *et al.* 2016a, tableau 6) a été créé pour expliquer la variation de la biomasse totale de la communauté de poissons avec un changement dans les variables environnementales (p. ex., après le développement). L'utilisation d'un modèle de réseaux de neurones artificiels, du phosphore total, des degrés-jours et d'un indice de débit (nRA1 – un indice du taux d'augmentation sans dimension normalisé au débit quotidien médian) a expliqué 83 % des variations de la biomasse totale des poissons entre les cours d'eau. Les degrés-jours (effet positif, contribution relative de 53 %) avaient une plus grande importance relative dans le modèle que le phosphore total (effet positif, contribution relative de 28 %) ou que l'indice de débit (effet négatif, contribution relative de 19 %).

Un modèle (modèle 12 dans Boisclair *et al.* 2016a, tableau 6) a été créé pour expliquer la variation de la richesse des espèces dans les cours d'eau et il pourrait être utilisé pour prédire le changement de la richesse des espèces avec un changement dans les variables environnementales (p. ex., après le développement). Les degrés-jours (mesure de la disponibilité de l'énergie) et l'hétérogénéité de l'habitat (HMID : indice hydromorphologique de la diversité de l'habitat fondé sur la variation spatiale de la profondeur et de la vitesse de l'eau) ont expliqué 69 % des variations de la richesse des espèces entre les cours d'eau. La richesse des espèces augmentait de manière exponentielle avec les degrés-jours (R^2 = 60 %) et atteignait une valeur maximale aux niveaux intermédiaires de l'hétérogénéité de l'habitat (HMID : R^2 = 48 %). Les degrés-jours avaient un effet plus direct sur la richesse des espèces que l'hétérogénéité de l'habitat.

Il est possible de prédire assez bien la répartition des poissons dans les cours d'eau lorsque ceux-ci présentent une biomasse totale de poissons élevée. Un cours d'eau dont la biomasse totale de poissons est inférieure à 2 $g \cdot m^{-2}$ pourrait ne pas avoir assez de poissons pour permettre l'élaboration d'un modèle de répartition des poissons dans le cours d'eau. Lorsque la biomasse de poissons est supérieure à 2 $g \cdot m^{-2}$, la vitesse, la profondeur de l'eau et la taille du substrat devraient être jugées prioritaires par rapport à d'autres caractéristiques environnementales (largeur, macrophyte, périphyton, débris ligneux, température, conductivité, transparence) pour prédire la répartition des poissons dans le cours d'eau. Des modèles linéaires mixtes qui imbriquaient les sites dans des cours d'eau et des régions ont été élaborés pour prédire la densité (R^2_{cv} = 66 %), la biomasse (R^2_{cv} = 43 %) et la richesse des espèces (R^2_{cv} = 51 %), à l'échelle locale, en réponse au régime d'écoulement à l'échelle du cours d'eau, et l'habitat à l'échelle locale (modèles 13 à 15 dans Boisclair *et al.* 2016a, tableau 6). Ces modèles pourraient être améliorés par l'ajout de variables qui ne sont pas liées au débit (p. ex., phosphore total, température, hétérogénéité de l'habitat) qui fait l'objet de recherches continues.

L'un des objectifs du réseau HydroNet consistait à trouver de nouveaux moyens de décrire les relations entre les poissons et l'environnement, et certains de ces travaux font encore l'objet de recherches continues. La modélisation de la matrice (modèles d'habitat explicites du point de vue phylogénétique, modèle 16 dans Boisclair *et al.* 2016a, tableau 6) est actuellement examinée pour prédire la présence d'espèces avec un ensemble donné de conditions environnementales. De même, les indicateurs physiologiques (p. ex., glycémie, lactate, cortisol) sont examinés comme moyens visant à établir un lien entre les variations dans des conditions environnementales (p. ex., débit, température) et la valeur adaptative et la productivité des poissons au moyen de la croissance (modèles 17 à 19 dans Boisclair *et al.* 2016a, tableau 6).

Pour une exploitation dans des applications pratiques, la création d'une simple interface informatique faciliterait l'utilisation de divers modèles élaborés dans le cadre du réseau HydroNet (en particulier pour les réseaux de neurones artificiels ou d'autres exercices de modélisation plus compliqués) et permettrait de s'assurer l'uniformité des extrants.

Réservoirs

Le travail lié aux réservoirs consistait principalement en une étude méthodologique visant à mettre à l'essai diverses méthodes pour déterminer le meilleur ensemble pour l'échantillonnage dans les réservoirs dans le cadre des programmes de surveillance. L'objectif global était de contribuer au développement des connaissances et des outils qui améliorent notre capacité à estimer et à prévoir les paramètres de la productivité des pêches dans les réservoirs (Boisclair *et al.* 2016b). Seul un réservoir (Lac du Bonnet, Manitoba) a été étudié et, par conséquent, les résultats pourraient ne pas être transférables à d'autres systèmes. Le système a été divisé en deux zones : la zone pélagique (> 3 m de profondeur) et la zone littorale (< 3 m de profondeur) et différentes méthodes ont été étudiées dans chacune de ces zones.

Recommandations concernant la zone pélagique :

Des méthodes d'hydroacoustique ont été examinées pour déterminer leur rentabilité et viabilité pour l'échantillonnage dans les réservoirs. Les résultats concernant les catégories de taille de poisson correspondaient aux attentes théoriques de la structure des tailles des écosystèmes aquatiques et on a constaté qu'ils étaient uniformes et reproductibles. Si des méthodes d'hydroacoustique doivent être utilisées, il importe de contrôler l'évitement du bateau et d'effectuer une certaine forme de vérification au sol (p. ex., échantillonner des poissons pour confirmer l'espèce par rapport au signal acoustique). L'évitement du bateau doit être évalué par des transects répétés avec et sans un moteur, et les densités qui découlent des transects motorisés doivent être corrigées, au besoin. Les dynamiques interannuelles et intra-annuelles de la structure des tailles ont pu être saisies par des relevés acoustiques répétés (changements observables en matière de points d'intersection et de pentes) et elles ont révélé un recrutement et une mortalité variables sur le spectre des tailles. Des séries chronologiques plus longues (plusieurs années) du spectre des tailles permettraient la description et la prédiction de l'état de l'écosystème fondé sur les changements de hauteur (point d'interception) et de pente du spectre des tailles. L'analyse comparative entre les écosystèmes (lacs par rapport aux réservoirs) pourrait fournir des renseignements au sujet des effets humains (p. ex., exploitations de réservoirs, changements de l'utilisation des terres) sur les poissons résidents.

Recommandations concernant la zone littorale :

Le document de recherche contient de nombreuses recommandations quant à ce qui doit être échantillonné et quant au moment et à la manière d'échantillonner la zone littorale dans un réservoir et d'analyser les données. Plus précisément, la recherche dans la zone littorale du réservoir était destinée à déterminer ce qui suit :

a. l'effet de la taille des échantillons et de la répétitivité dans l'année ou entre les années sur le potentiel d'établir des relations entre les paramètres de productivité des pêches et les conditions environnementales;
b. la méthode d'échantillonnage ou les combinaisons de méthodes d'échantillonnage (pêche au filet maillant, à la senne et électrique) qui conviendraient le mieux pour estimer ou prédire les paramètres de productivité des pêches;
c. les rôles relatifs des conditions environnementales locales (dans le site), latérales (caractéristiques environnantes) et contextuelles (emplacement d'un site par rapport aux caractéristiques du paysage) dans les modèles;
d. la différence entre les estimations durant la journée et durant la nuit et les modèles de paramètres de productivité des pêches.

Pour un niveau d'effort d'échantillonnage donné, il pourrait être préférable d'échantillonner un plus grand nombre de sites au cours d'une année (c.-à-d. augmenter la couverture spatiale) pour établir des relations entre les poissons et l'environnement dans les réservoirs, plutôt que

d'échantillonner de manière répétée un plus petit nombre de sites au cours d'une année (c.-à-d. augmenter la couverture temporelle ou saisonnière). Le pouvoir prédictif moyen et souvent maximal des relations entre les poissons et l'environnement dans le Lac du Bonnet était faible dans la plupart des cas, ce qui laisse entendre que les poissons pourraient ne pas avoir d'exigences très strictes en matière d'habitat dans ce réservoir. Il existait de grandes différences dans les relations établies d'une année à l'autre, ce qui semble indiquer que la modélisation et la validation de tels liens exigent plusieurs années d'échantillonnage. La période d'échantillonnage doit tenir compte de la date de la fonte des glaces pour s'assurer que les associations d'habitats ne sont pas touchées par l'hiver ou la répartition du frai. Échantillonner des poissons dix à douze semaines après la fonte des glaces pourrait améliorer les relations poissons-environnement.

La pêche à la senne semble offrir un meilleur moyen d'estimer la richesse des espèces et la biomasse des poissons, tandis que la pêche électrique était le meilleur engin de pêche pour établir les relations entre les poissons et l'environnement. Étant donné que l'échantillonnage de 43 sites avec le bateau de pêche électrique a pris deux jours et que l'échantillonnage au moyen d'une senne a duré 25 jours, il est évident qu'il est plus efficace d'établir des relations poissons-environnement à l'aide de la pêche électrique. Ce gain d'efficacité peut être utilisé pour augmenter le nombre de sites échantillonnés et donc augmenter la couverture spatiale (voir ci-dessus). Certains éléments indiquent que la capacité d'explication des liens entre l'abondance totale du poisson et les conditions environnementales était plus élevée la nuit (73 %) que le jour (60 %). Il convient toutefois de faire preuve de prudence dans l'interprétation de ce résultat, puisque l'échantillonnage a été effectué à des années différentes. Bien que la pêche électrique l'ait emporté sur la pêche à la senne pour l'établissement de liens entre le poisson et l'environnement, lorsqu'une senne était utilisée, l'échantillonnage de nuit était meilleur pour établir des relations que la pêche de jour. La pêche au filet maillant n'était pas utile pour établir des liens entre le poisson et l'environnement. Une combinaison de variables de l'habitat local (p. ex., pente, couverture de macrophytes, substrat) et dépendantes du contexte (p. ex., distance par rapport aux affluents ou aux marais, fetch) devrait être utilisée pour expliquer la variation des paramètres de productivité des pêches dans la zone littorale des réservoirs. Dans le Lac du Bonnet, la couverture de macrophytes et la distance par rapport à des affluents majeurs constituaient des variables importantes en ce qui concerne les paramètres de productivité des pêches.

Passage et entraînement du poisson

Passes migratoires

D'un point de vue écologique, prévoir un passage pour le poisson réduit les répercussions aux endroits où le barrage modifie les possibilités de passage du poisson. Cependant, la nécessité d'un passage du poisson doit être évaluée au cas par cas, à l'aide d'une évaluation axée sur la communauté et de la disponibilité de l'habitat après la retenue d'eau. Il est plus probable qu'un passage soit requis si les espèces de poissons dans la communauté concernée exigent un accès aux habitats en amont pour remplir les fonctions de leur cycle biologique et si les caractéristiques prévues de l'habitat au-dessus de l'installation de passage sont susceptibles d'offrir un habitat adapté à ces fonctions. Il est moins probable qu'un passage soit nécessaire si les espèces n'ont pas besoin d'un accès en amont ou s'il existe un piège écologique ou si aucun habitat adapté n'est disponible en amont après la retenue d'eau. Dans certains cas (p. ex., contrôle des espèces envahissantes), un passage pourrait en effet nuire à la productivité des pêches en amont. La prise en compte des espèces de poissons visées et des stades biologiques est également importante.

L'efficacité en matière d'attraction et de passage du poisson a été évaluée pour un très petit nombre de passes à poissons au Canada (8 % des 211 passes à poissons), et seule une étude comparant l'efficacité du passage à un système de contrôle a été trouvée, c.-à-d. en l'absence d'un barrage. Dans la mesure du possible, il faut s'efforcer d'inclure les contrôles appropriés lors de l'évaluation du passage du poisson dans les passes à poissons. La majeure partie de l'évaluation de la conception des passes à poissons a été effectuée sur des passes à poissons percées de fentes verticales et d'autres conceptions de passes à poissons, y compris les passes à poissons d'apparence naturelle, et les passes migratoires avec bassin en gradins nécessitent en particulier une évaluation supplémentaire. Toute nouvelle passe à poissons doit faire l'objet d'une évaluation afin d'en déterminer l'efficacité en matière d'attraction et de passage du poisson.

Le document de recherche contient un résumé des considérations techniques et des outils pour améliorer la conception des passes à poissons et l'évaluation de leur efficacité. Les modifications techniques apportées à la conception des passes à poissons doivent être examinées pour favoriser un passage plus rapide du poisson, réduire la demande énergétique, ce qui devrait réduire la mortalité après le passage des poissons. L'amélioration des critères de conception des passes à poissons doit tenir compte des variables hydrodynamiques relatives à une fourchette de tailles de poisson et à la communauté de poissons, dans l'installation de passage et en aval de celle-ci. Les bassins d'évitage sont une caractéristique de conception courante des passes à poissons qui doivent permettre le passage du poisson au-dessus d'une structure relativement élevée. Ils redirigent l'écoulement de l'eau, réduisent l'énergie du débit pour offrir aux poissons un espace de repos et permettre une conception plus compacte rendant ainsi l'emplacement de l'entrée de la passe à poissons plus optimal (c.-à-d. plus proche du barrage hydraulique). Cependant, les bassins d'évitage peuvent représenter un défi particulier pour les poissons remontant le cours d'eau, et il convient d'étudier les options permettant de les modifier ou de les supprimer, au besoin. Compte tenu des dépenses énergétiques élevées et des conséquences physiologiques (c.-à-d. stress), la tolérance physiologique propre à chaque espèce aux conditions hydrauliques présentées par les conceptions de passes à poissons existantes et futures doit être prise en considération et être mentionnée, dans l'idéal, dans le cas de la migration en amont sur un barrage naturel.

L'évaluation des passes à poissons doit comprendre la collecte de données biologiques (p. ex., attraction, passage complet) et hydrauliques (p. ex., vitesse, turbulence) et la modélisation connexe effectuée par une équipe multidisciplinaire. Les évaluations doivent comprendre les paramètres et connaissances physiologiques pour déterminer si les obstacles au succès du passage sont comportementaux ou liés à la capacité physiologique. L'évaluation du succès du passage du poisson dans une passe à poissons doit reposer sur des objectifs propres au site, *a priori*, fondés sur des critères biologiques liés à des objectifs de gestion des pêches ou de conservation. Surveiller simplement le passage complet du poisson dans la passe à poissons (p. ex., capture dans un siphon se trouvant dans la partie supérieure) ne suffit pas pour évaluer le succès du passage, étant donné qu'il est nécessaire de connaître le nombre de poissons cherchant un passage et tentant de le franchir pour établir un taux de réussite. Dans l'idéal, de tels renseignements sont examinés dans le contexte de la biologie des populations pour des espèces ou populations ciblées. Tout gain d'efficacité signalé doit être évalué de manière critique avant d'être utilisée dans le cadre du processus décisionnel.

Entraînement vers l'aval

L'entraînement du poisson, lorsqu'il se déplace vers l'aval dans le canal de fuite, en traversant les prises d'eau des turbines ou des déversoirs de crue, peut être préoccupant, compte tenu des incidences potentielles sur la productivité des pêches. La plupart des recherches sur l'entraînement étaient axées sur les stades précoces du stade biologique des poissons

migrateurs (p. ex., saumoneaux) et, par conséquent, on sait peu de choses sur le risque d'entraînement des poissons résidents adultes dans les réservoirs. L'objectif de cette composante du réseau HydroNet était d'avoir recours à une équipe multidisciplinaire composée d'ingénieurs et de biologistes pour avoir une bonne compréhension de l'entraînement des poissons résidents adultes et pour aider à orienter les recherches futures sur l'entraînement en fonction des leçons apprises.

Un modèle conceptuel de travail sur le risque potentiel d'entraînement pour les espèces de poissons résidents adultes figure dans le document de recherche. Les évaluations de risque d'entraînement utilisant des méthodes théoriques représentent une première étape dans l'évaluation du besoin et de la priorisation d'études plus détaillées.

Le risque d'entraînement est propre au site. Les connaissances acquises à partir du réseau HydroNet étaient axées sur la lotte (*Lota lota*) et l'omble à tête plate (*Salvelinus confluentus*) adultes dans le réservoir Kinbasket (Colombie-Britannique) et d'autres stades biologiques doivent être examinés, dans la mesure du possible. Les résultats ont démontré que l'incidence d'entraînement pour les deux espèces survenait lorsque les conditions du réservoir étaient isothermes (c.-à-d. que la température était relativement constante en profondeur). La lotte adulte était rarement présente dans le bief amont et présentait un risque global d'entraînement probablement faible. En revanche, 52 % (n = 97) des ombles à tête plate adultes porteurs d'une étiquette ont été trouvés dans le bief amont. Parmi ceux-ci, huit ont été observés dans le canal de fuite au cours de la période d'étude de deux ans. Les profils de déplacement de l'omble à tête plate entraîné ont indiqué qu'il manifestait probablement un comportement explorateur qui le conduisait près (< 15 m) ou à l'intérieur des prises d'eau des turbines, étant donné que les modèles de dynamique des fluides prédisaient des vitesses auxquelles ces adultes, qui nagent avec vigueur, viendraient à bout pour éviter l'entraînement non volontaire.

La modélisation de l'environnement physique du bief amont (y compris les dynamiques du champ de courant et la température de l'eau) est essentielle pour comprendre les facteurs conduisant à l'entraînement. Par conséquent, la meilleure évaluation de l'entraînement est effectuée par une équipe multidisciplinaire composée d'ingénieurs et de biologistes. L'entraînement doit être examiné en fonction de l'espèce et du stade biologique, l'utilisation du bief amont, les déplacements et les comportements considérablement différents donnant lieu à des estimations des vulnérabilités différentes. Toutes les échelles spatiales (représentativité brute ou à petite échelle) et temporelles (p. ex., journalières, saisonnières) pertinentes doivent être prises en compte. Un ensemble normalisé de collecte des données et d'outils analytiques est recommandé, y compris la télémesure, qui permet des évaluations détaillées de l'écologie spatiale propre à l'espèce et au niveau individuel. La télémesure demeure l'un des outils disponibles les plus efficaces pour évaluer la vulnérabilité à l'entraînement face à l'incertitude qui peut résulter de l'évaluation théorique des risques.

Les conséquences globales à l'échelle de la population de l'entraînement du poisson adulte demeurent largement inconnues. Évaluer ces conséquences nécessiterait des estimations de la population, des évaluations du recrutement et du début du cycle biologique et de l'entraînement à tous les stades biologiques. Les futures recherches devraient évaluer les conséquences à l'échelle de la population pour les espèces visées, dans la mesure du possible.

Sources d'incertitude

Le manque d'expertise disponible pourrait limiter l'applicabilité généralisée de certains des résultats provenant de ces recherches faites par le réseau HydroNet, notamment en ce qui concerne l'utilisation de certains des exercices de modélisation plus complexes et l'hydroacoustique utilisée comme méthode d'échantillonnage.

L'analyse des anomalies du régime d'écoulement présentée dans Lapointe *et al.* (2015) ne comprenait pas les systèmes hydroélectriques avec dérivations de l'eau. Ici, le terme « dérivation » se rapporte à l'eau de surface extraite d'un cours d'eau qui ne retourne pas dans le même cours en aval (p. ex., l'eau est acheminée vers d'autres bassins versants pour la production d'énergie ou est utilisée à des fins d'irrigation) ou qui ne rejoint pas une dérivation courte dans le même cours d'eau dirigeant l'eau dans un tuyau ou un tunnel vers une centrale électrique en aval, laissant un tronçon asséché le long du tuyau ou du tunnel. Bien que les dérivations puissent être étudiées dans le cadre d'anomalies, elles rendraient l'analyse des principaux composants différente en y introduisant un nouvel axe de variation. En théorie, un cours d'eau comprenant une dérivation importante extrayant des écoulements apparaîtra sous la forme d'un système dans lequel un paramètre de débit particulier (ruissellement particulier = débit moyen annuel divisé par l'aire de drainage) sera plus faible que celui du groupe de référence local. Le ruissellement particulier doit être plus ou moins le même pour tous les systèmes régulés et non régulés sans dérivation qui se trouvent dans la même région. Cela était le cas dans l'ensemble de données du réseau HydroNet. Si un système (ou tronçon) de dérivation était inclus dans la comparaison, le ruissellement particulier présenterait une anomalie évidente, tandis que ses autres paramètres (liés à la période du débit, à la fréquence des fluctuations, etc.) pourraient présenter ou non des anomalies (en fonction du calendrier des dérivations qui peut varier).

Pour générer des régimes non régulés de référence pour la démarche fondée sur les anomalies du régime d'écoulement, la disponibilité de séries chronologiques de débit pour une *période commune d'au moins* 20 ans, dans tous les sites, est recommandée. Il s'agit de la durée minimale requise pour répartir les cycles de ruissellement pluriannuels possibles et arriver à des moyennes à tout le moins stables dans le cas de nombreux paramètres clés présentant un intérêt en matière d'écologie et d'écosystème, comme les débits moyens élevés et faibles pour lesquels les durées et les récurrences varient. En raison du changement climatique, des changements des niveaux naturels de la disponibilité de l'eau pourraient être observés. Par conséquent, les données des systèmes de référence situés à proximité utilisées pour comparer un cours d'eau régulé pourraient devoir être renouvelées de façon itérative en fonction des effets potentiels du changement climatique sur ce qui constitue un régime d'écoulement naturel dans un réseau hydrographique non régulé.

Malheureusement, il n'existe pas de critères quantitatifs convenus à l'échelle internationale pour le degré de modification du débit définissant les trois types de termes de régulation des cours d'eau utilisés dans le réseau HydroNet (barrages de pointe, barrages réservoirs, barrages au fil de l'eau). Ces types sont réellement les « composantes spectrales extrêmes » sur un continuum de degré et de type de changement de l'hydrographie (c.-à-d. qu'il s'agit de « types idéalisés » de modification de l'hydrographie, et que la plupart des projets réels s'intercalent en fait dans un spectre de combinaisons de ces types, l'intensité variant en fonction de chaque projet). Par exemple, dans le cas des barrages de pointe, il semble qu'il n'existe pas de norme communément admise sur l'amplitude du ratio de changement de l'écoulement en aval (Q élevé/Q faible), ou sur la fréquence des rejets de pointe — chaque semaine ou chaque mois, qui sont nécessaires pour qualifier de façon officielle un barrage de « barrage de pointe ». En l'absence de définition précise, les barrages dont les réservoirs sont limités (et qui réduisent donc les répercussions sur les profils d'écoulement en aval) ou qui présentent des taux de débit de pointe modérés (taux des débits quotidiens élevés à faibles) sont presque considérés comme des barrages au fil de l'eau et sont moins susceptibles de causer des répercussions écologiques. En revanche, il ne s'agit pas de véritables systèmes « au fil de l'eau » (tels que définis dans le glossaire) et ils ne devraient pas nécessairement être examinés tels quels. Cette absence de clarté est la principale raison pour laquelle les gestionnaires de l'environnement ont besoin d'outils quantitatifs (tels que des indicateurs de modification et d'anomalie du débit, voir

le glossaire) pour évaluer le type exact et les degrés de changement de régime impliqués dans tout projet. Dans le réseau HydroNet, la connaissance du mode de fonctionnement et la taille relative du volume de retenue ont été utilisées pour classer les systèmes à l'étude comme barrages au fil de l'eau ou comme grands barrages réservoirs, avec ou sans débit de pointe régulier. Ces critères se trouvent dans la section Glossaire du présent rapport.

Les changements de température en aval des grands réservoirs dépendent, selon la stratification thermique, de la profondeur de la prise d'eau et d'autres facteurs physiques. Par conséquent, il se peut qu'il ne soit pas facile de les modéliser. Les réservoirs utilisés dans les travaux thermiques étaient généralement peu profonds, et il se peut qu'ils ne soient pas représentatifs de tous les réservoirs hydroélectriques.

La saturation d'un système en raison d'une limite de recrutement (p. ex., un système lacustre avec un manque de disponibilité des habitats de frai fluviaux et aucun véritable spécialiste des systèmes lacustres) pourrait avoir des répercussions sur l'utilisation du modèle de la biomasse de poissons sous forme de nutriments, étant donné que les systèmes dont le recrutement est très limité ne produisent pas de biomasse potentielle à un niveau de nutriments donné. Ces systèmes étaient exclus de l'élaboration des modèles. La saturation du réseau trophique disponible (p. ex., la chaîne alimentaire dans un réservoir sans espèce planctonophage pélagique utilise de façon moins efficace la productivité du plancton que celle dans un réservoir avec une espèce planctonophage pélagique) a des répercussions sur l'utilisation du modèle de la biomasse de poissons sous forme de nutriments, mais l'intégration de la notion de richesse des espèces dans le modèle devrait corriger ces effets. Si un nouvel aménagement hydroélectrique endigue un cours d'eau, créant ainsi un réservoir, il a peu d'effet sur le régime en nutriments et, par conséquent, sur la biomasse des poissons prévue, tant que les niches trophiques disponibles sont utilisées par les espèces de poissons présentes dans le réservoir et l'habitat ne limite pas le recrutement. Cependant, il convient de noter que les modèles de nutriment étaient tirés de l'extraction des données provenant d'études précédentes et non de données « avant » et « après » provenant d'un réseau endigué récemment.

La capacité de l'hydroacoustique à quantifier la communauté de poissons durant la journée par rapport à la nuit peut être mise en échec par le plancton qui migre verticalement. Par conséquent, lorsque l'échantillonnage est effectué, le plancton doit être échantillonné.

L'échantillonnage de la zone littorale du réservoir était axé sur les poissons de plus de 3 cm (longueur totale), en raison des limites de l'engin utilisé pour capturer efficacement les poissons de moins de 3 cm. Les catégories de tailles plus petites (jeunes de l'année) n'ont pas été utilisées dans les analyses et pourraient présenter des profils de répartition différents.

Le niveau de transférabilité des résultats sur le passage du poisson est incertain, mais les méthodes utilisées devraient pouvoir être transposées et s'appliquer à de nouvelles installations, ou lorsque l'occasion d'évaluer les passes à poissons ou la nécessité d'un passage du poisson se présente dans les installations existantes faisant l'objet d'une rénovation ou d'une reconstruction. L'utilisation de passes à poissons pour le passage du poisson en aval n'a pas été évaluée dans le cadre du réseau HydroNet, mais elle devrait être examinée dans le cadre des évaluations des passes à poissons et faire l'objet de recherches futures.

Les importantes fluctuations du niveau d'eau et le bruit ambiant provenant de l'exploitation des barrages constituent un défi pour la télémétrie acoustique effectuée dans les réservoirs. L'utilisation de plusieurs fréquences des émetteurs peut améliorer l'efficacité de la détection. L'efficacité de la détection doit être calculée (à l'aide de balises) et l'utilisation des biefs d'amont par les poissons doit être corrigée lors de l'utilisation de systèmes de télémétrie acoustique dans les réservoirs. Les préoccupations liées à la sécurité près des barrages hydroélectriques (c.-à-d. l'incapacité à obtenir des mesures sur le terrain du débit et de la température

directement au-dessus ou près des prises d'eau) rendent difficile la vérification des calculs de la dynamique numérique des fluides en laboratoire, mais les données doivent être obtenues en se rapprochant le plus possible du barrage à l'aide d'un amarrage sécurisé pour étalonner et valider les modèles; par la suite les résultats peuvent être extrapolés aux prises d'eau.

CONCLUSIONS ET AVIS

Le réseau HydroNet du CRSNG a agi avec succès en tant que réseau de recherche national, en atteignant un grand nombre de ses objectifs. Les principales conclusions qui découlent de cinq années de recherches effectuées par le réseau HydroNet sont toutes incluses dans la section Sommaire. Les recommandations du présent avis scientifique sont formulées, par thème, dans chacune des sections du présent document.

AUTRES CONSIDÉRATIONS

Bien que les suggestions de recherches futures ne soient pas normalement incluses dans un avis scientifique, la nature du présent rapport, qui regroupe cinq années de recherches sous la forme d'outils et d'avis de gestion, se prête à l'identification d'éléments de recherche prioritaires ayant découlé naturellement des efforts de recherche considérables déployés par le réseau HydroNet. Ce qui suit est une brève description de certains des futurs travaux qui ont été abordés. En revanche, cette liste de sujets de recherche n'indique pas leur niveau de priorité :

- Il pourrait être possible d'élaborer un modèle simple de mise à l'échelle utilisant le volume d'eau circulant dans les prises d'eau par rapport à la section transversale des prises d'eau pour fournir une estimation approximative de la vitesse du courant dans le milieu où les poissons se trouvent, dans les zones proches de prises d'eau. Cela pourrait être effectué pour les sites où la modélisation détaillée de la dynamique numérique des fluides a été réalisée pour comparer les résultats et évaluer l'utilité du modèle simple.
- Les barrages hydroélectriques utilisés au moment des crues ne sont pas tous utilisés de la même manière et une analyse de la gamme d'activités hydroélectriques au moment des crues (p. ex., taux des débits élevés quotidiens par rapport aux débits faibles ou gamme de fluctuations quotidiennes du niveau d'eau dans le canal de fuite) devrait faire l'objet d'un examen et éventuellement d'une classification.
- Un grand nombre des modèles qui ont été présentés bénéficieront d'une validation ou d'une validation approfondie pour étendre leur gamme d'applicabilité.
- L'outil d'imagerie-satellite multispectrale haute résolution pourrait être mis à l'essai dans des cours d'eau plus importants, à l'aide des données existantes.
- La modélisation des nutriments a été effectuée en se fondant sur la richesse des espèces, mais l'approche pourrait également fonctionner, voire s'avérer plus efficace, en utilisant une approche groupée qu'il convient d'étudier.
- L'analyse du spectre des tailles (hydroacoustique dans la zone pélagique) permet d'effectuer des comparaisons par paire des réservoirs et des systèmes lacustres naturels et doit être étudiée plus en détail.
- L'hydroacoustique permet de fournir une analyse par cohorte saisonnière quantitative dans les systèmes lacustres (pour les estimations de la mortalité, de la croissance, etc.) et pourrait être étudiée plus en détail.
- Les résultats de la pêche électrique à bord d'un bateau effectuée le jour, par rapport à aux résultats de la même pêche effectué la nuit, semblent indiquer que l'échantillonnage durant la nuit était meilleur pour les modèles prédisant l'abondance du poisson. Cependant, ces résultats n'étaient pas concluants, étant donné que les activités ont été réalisées durant des

années différentes. Les futurs travaux pourraient étudier la question plus en profondeur, en menant des activités de pêche électrique le jour et la nuit, au cours de la même année.

- Étudier les mécanismes qui attirent le poisson vers les prises d'eau des turbines et l'entraînement ultérieur, y compris l'attraction potentielle au bruit, aux vibrations ou à des proies.
- Déterminer comment la configuration des turbines influence le comportement et la probabilité d'entraînement des espèces ciblées.

SOURCES DE RENSEIGNEMENTS

Le présent avis scientifique découle de la réunion nationale d'examen par les pairs qui s'est tenue du 15 au 17 septembre 2015 sur le Réseau HydroNet du CRSNG : consolidation de cinq années de recherche destinées à développer les connaissances et les outils concernant les effets des installations hydroélectriques sur les écosystèmes aquatiques. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, dans le calendrier des avis scientifiques du secteur des Sciences de Pêches et Océans Canada (MPO).

Boisclair, D., Lapointe, M., Saint-Hilaire, A., Rasmussen, J.B., Senay, C., Lanthier, G., Bourque, G., Guénard, G., Macnaughton, C.J., Harvey-Lavoie, S. 2016a. Modelling the effects of chemical and physical drivers on fisheries productivity metrics across rivers of varying hydrological regimes: lessons learned from NSERC HydroNet 2009-2015. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2016/033. viii + 61 p.

Boisclair, D., Rose, G. A., and Bourque, G. 2016b. Mesoscale modelling of fisheries productivity metrics in reservoirs: lessons learned from NSERC's HydroNet 2010-2015. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2016/053. x + 35 p.

Gutowsky, L.F.G., Harrison, P.M., Silva, A., Martins, E.G., Power, M., Zhu, D.Z., Cooke, S.J. 2016. Upstream passage and entrainment of fish at hydropower dams: lessons learned from NSERC's HydroNet 2010-2015. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2016/039. vii + 35 p. (*Erratum:* September 2016)

Hugue, F., Lapointe, M., Eaton, B., Lepoutre, A. 2015. Satellite-based remote sensing of running water habitats at large riverscape scales: Tools to analyze habitat heterogeneity for river ecosystem management, Geomorphology. DOI : 10.1016/j.geomorph.2015.10.025.

Lapointe, M., Rasmussen, J.B., Maheu, A., Kwak, J.A., Beaupré, L., St-Hilaire, A. 2016. Key physical and chemical drivers of fisheries productivity (flow, nutrient and thermal regimes) across rivers in various Canadian regions: lessons learned from NSERC's HydroNet 2010-2015. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2016/047. vi + 55 p.

MPO. 2016. Compte rendu de l'examen national par les pairs du Réseau HydroNet du CRSNG : consolidation de cinq années de recherche destinées à développer les connaissances et les outils concernant les effets des installations hydroélectriques sur les écosystèmes aquatiques; du 15 au 17 septembre 2015. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Compte rendu 2016/042.

ANNEXE : GLOSSAIRE

Anomalie du débit : Vise à déterminer jusqu'à quel point le régime régulé est anormal par rapport à la gamme naturelle observée dans les régimes d'écoulement non régulés dans la même vaste région évaluée à l'aide de nombreux cours d'eau de référence dont la taille et les bassins versants sont comparables à ceux du cours d'eau régulé. Cette analyse (expliquée dans Lapointe *et al.* 2015) ne dépend ni de la disponibilité des données historiques des débits, ni de la stabilité des conditions climatiques et de la couverture terrestre.

Impaction du poisson : Se produit lorsqu'un poisson est coincé sur une structure, comme un grillage à débris ou une grille d'entrée d'eau, et ne peut s'en dégager.

Conditions de régularisation du débit (utilisées dans le contexte du réseau HydroNet) : Dans le réseau HydroNet, les connaissances locales sur le mode de fonctionnement et la taille relative du volume de retenue (par rapport au débit moyen annuel) ont été utilisées pour classer les systèmes à l'étude en trois catégories : les barrages au fil de l'eau et les grands barrages réservoirs, avec ou sans débit de pointe régulier. Plus précisément, les critères étaient les suivants :

Barrage non régulé : Sites dont le régime d'écoulement n'est pas touché par les barrages en amont et uniquement touché par la variabilité des flux hydrologiques entrants et sortants (précipitation, évaporation) et par la retenue naturelle de l'eau (comme les lacs naturels et l'eau souterraine). Dans ces sites, la réponse sur le plan de l'amplitude, de la période, de la durée et de la fréquence des événements de débit pourrait être touchée par l'utilisation des terres mais ne sont modifiés par un réservoir artificiel.

Barrage au fil de l'eau : Sites dont le volume de retenue est très petit (par rapport au débit moyen annuel du cours d'eau) et qui ne présentent aucune trace de débit de pointe sur l'hydrogramme.

Barrage réservoir Sites comprenant un très grand volume de retenue (par rapport au débit moyen du cours d'eau), les fluctuations saisonnières importantes du niveau du réservoir atténuant clairement les débits élevés en aval, mais ne présentant jamais ou presque jamais de débit de pointe.

Barrage de pointe : Sites comprenant un volume de retenue qui présentait des débits de pointe réguliers, importants, presque tous les jours, où un débit de pointe correspond à l'exploitation d'une centrale hydroélectrique destinée à satisfaire aux pics de demande d'électricité, entraînant ainsi des fluctuations horaires ou quotidiennes importantes du débit.

Écart réduit : Un écart réduit indique à combien d'écarts-types un élément se trouve par rapport à la moyenne. Un écart-réduit peut être calculé en utilisant la formule suivante : $z = (X-\mu)/\sigma$, où z est l'écart-réduit, X est la valeur de l'observation, μ est la moyenne de la population et σ est l'écart-type.

Efficacité du passage des poissons : Calculée en divisant le nombre de poissons d'une espèce particulière qui quittent une passe à poissons par le nombre qui est détecté à l'entrée de la passe à poissons.

Efficacité en matière d'attraction de la passe à poissons : Proportion de poissons portant une étiquette et relâchés au cours d'une étude donnée qui se trouvent, par la suite, à moins d'environ trois mètres de l'entrée de la passe à poissons.

Entraînement du poisson : Se produit lorsqu'un poisson est attiré dans une prise d'eau et ne peut s'en échapper.

Modèles des températures de l'eau – déterministes : Outils mathématiques (généralement des équations différentielles) élaborés pour estimer l'évolution de la température de l'eau, d'après la physique des processus d'échanges thermiques. En général, les modèles déterministes de la température de l'eau calculent un bilan thermique à chaque intervalle et à un ou plusieurs points, le long du cours d'eau et dans le dernier cas, ils tiennent compte de l'advection thermique en amont et en aval.

Avantages : Ils sont fondés sur la physique du phénomène. Ils sont donc probablement de meilleures méthodes d'extrapolation (temporelles ou spatiales) que les modèles statistiques (voir ce qui suit).

Inconvénient : En général, ils requièrent un nombre beaucoup plus important de données d'entrée que les modèles statistiques (et de types de données qui ne sont pas souvent surveillées, p. ex., les données sur les conditions météorologiques variables telles que le vent et l'humidité à l'échelle locale, la concentration de nuages, le rayonnement solaire au sol et les données sur diverses caractéristiques du bassin versant, comme les emplacements des aquifères et les débits).

Modèles des températures de l'eau – statistiques : Outils mathématiques élaborés pour estimer la température de l'eau (dans le présent cas) en fonction de relations purement empiriques (déterminées et quantifiées par corrélation, par exemple) avec les variables prédictives appropriées (p. ex., température de l'air, débit du cours d'eau).

Avantage : En général, ils requièrent un nombre moins important d'intrants que les modèles déterministes et ils sont habituellement plus faciles à étalonner pour un système et un ensemble de conditions particuliers.

Inconvénient : En général, ils requièrent des séries chronologiques relativement longues (p. ex., de la température de l'air et de l'eau) pour l'étalonnage. Ils sont difficiles à exporter dans d'autres systèmes.

Modification du débit : La modification de tout paramètre de débit est calculée en faisant une comparaison directe des hydrogrammes datant d'avant le barrage avec ceux réalisés après le barrage (chacun durant environ deux décennies) sur le cours d'eau étudié. En supposant des effets négligeables interdécennaux de l'utilisation des terres et du changement climatique, cette comparaison est un bon moyen de quantifier l'effet de la régulation du débit sur le régime d'écoulement du système. Cependant, des données historiques d'avant la présence du barrage remontant suffisamment loin dans le temps pourraient, dans de nombreux cas, ne pas être disponibles.

CE RAPPORT EST DISPONIBLE AUPRÈS DU :

Pêches et Océans Canada
Secrétariat canadien de consultation scientifique
200, rue Kent
Ottawa (ON) K1A 0E6

Téléphone : 613-990-0293
Courriel : csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca
Adresse Internet : www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/

ISSN 1919-5117
© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2016

La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2016. Réseau HydroNet du CRSNG : consolidation de cinq années de recherche destinées à développer les connaissances et les outils concernant les effets des installations hydroélectriques sur les écosystèmes aquatiques. Secr. Can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2016/051.

Also available in English:

DFO. 2016. NSERC's HydroNet: consolidating five years of research designed to develop knowledge and tools about the effects of hydroelectric facilities on aquatic ecosystems. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2016/051.